Tijdschrift van het
Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
DEEL 31 Nr. 11 1966

Micro-elektronica

door L. P. J. Veelenturf *)

Vervolg

II-2 *De monolitische geïntegreerde schakeling***)

De fabricagewijze van monolitische schakelingen is analoog aan die van de planaire transistor. Met behulp van foto-lithografische technieken worden middels diffusie van donoratomen en acceptoratomen in een monokristallijn epitaxiaal aangegroeid halfgeleider substraat, de verschillende componenten aangebracht. Op een „slice" van 2 à 5 cm^2 worden enkele honderden identieke schakelingen, elk bestaande uit 10 à 50 componenten, gerealiseerd. Typisch voor de monolitische schakelingen zijn de actieve componenten, zoals conventionele transistoren, field effect-transistoren, MOS-transistoren, surface controlled avalanche transistoren, dioden en tunneldioden. Tot de mogelijke passieve com-

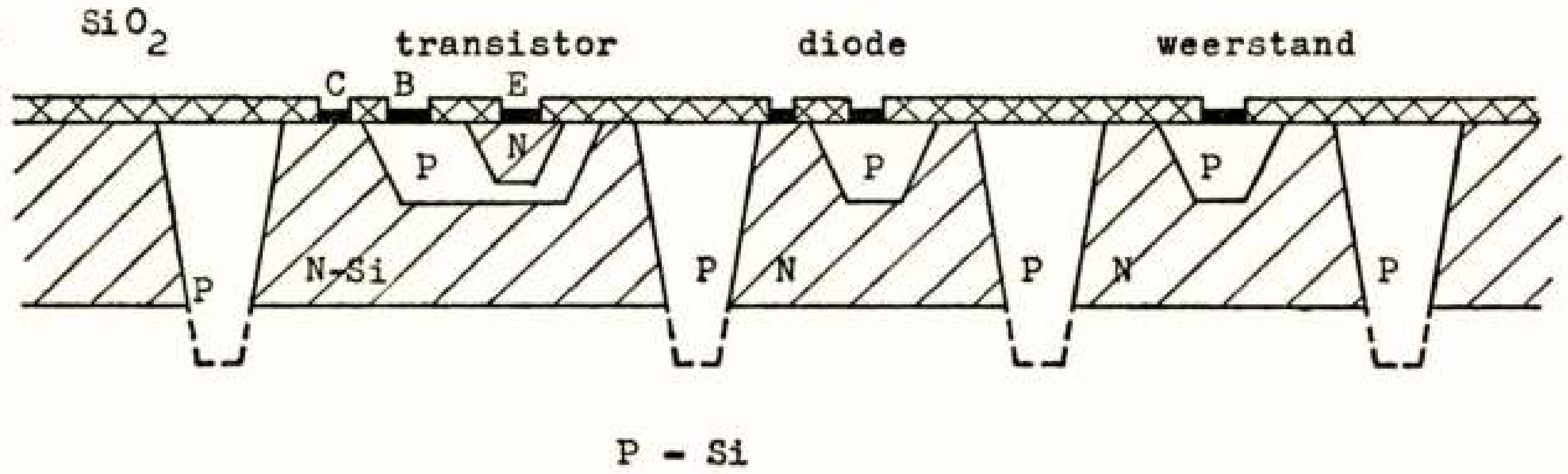


Fig. 7

Voorbeeld van een gedeelte van een monolitische schakeling

*) Technische Hogeschool Twente.

**) De literatuurlijst is opgenomen na het eerste gedeelte van dit artikel, pag. 205.

ponenten behoren weerstanden en condensatoren. De verschillende componenten worden tot op zekere hoogte gescheiden door in sperrichting ingestelde p-n-overgangen. De verbindingen komen tot stand door middel van opgedampte metaalbanen. Ter illustratie van een monolitische schakeling is in fig. 7 een zeer schematische configuratie gegeven van zo'n schakeling met een transistor, een diode en een weerstand.

a. De passieve monolitische componenten

Weerstanden

In principe zou men gebruik kunnen maken van de „bulk"-weerstand van een stuk halfgeleidermateriaal, zoals aangegeven in fig. 8. De weerstandswaarden zijn echter laag en de temperatuurcoëfficiënt is hoog; enkele duizenden ppm/°C.



Fig. 8

Halfgeleider als weerstand voor monolitische schakelingen

Meestal maakt men gebruik van gediffundeerde weerstanden, waarbij men met behulp van maskers en etstechnieken een p-type kanaal met een diepte van 2 à 10 μ en met een gewenste breedte en lengte in een n-type halfgeleiderlaag diffundeert (fig. 9).

De weerstandswaarden worden bepaald door $R = R\square \frac{L}{W}$, waarbij de specifieke laagweerstand $R\square$ ligt tussen 10 en 500 $\Omega\square$. Het gebied van de weerstandswaarden ligt tussen 100 Ω en 40 kΩ. Daar de minimale, technologisch nog uitvoerbare en reproduceerbare, kanaalbreedte in de orde van 10 à 30 μ ligt, vereisen hogere weerstandswaarden een te grote kanaallengte en daarmee een te groot oppervlak.

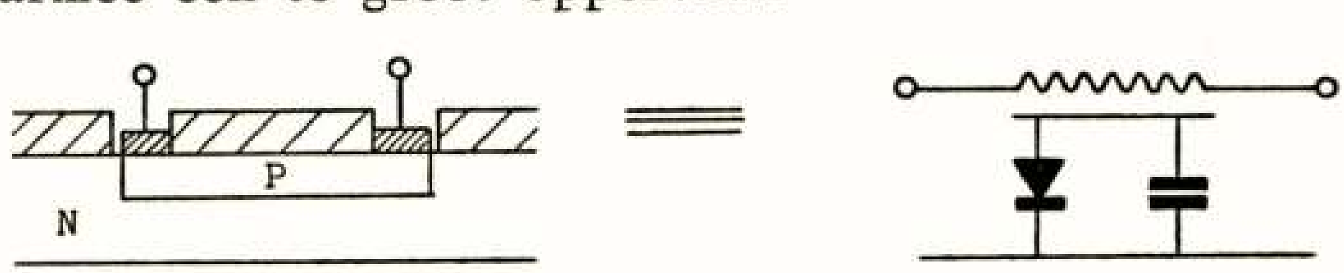


Fig. 9

Gediffundeerde weerstand

Nadelen van dit type weerstand (in vergelijking tot de dunnefilmweerstand) zijn de volgende.

1. Hoge temperatuurcoëfficiënt. Deze hangt direct samen met de specifieke laagweerstand; voor $R\square = 300\ \Omega\square$ en $R\square = 50\ \Omega\square$ geeft Warner [7]) temperatuurcoëfficiënten van 2.800 ppm/°C resp. 960 ppm/°C .

2. Hoge waarde van de tolerantie. De onvermijdelijke onnauwkeurigheid van het fotolithografisch proces, o.a. tengevolge van eindige lijnscherpte van maskers en geëtste banen, zowel als de moeilijk reproduceerbare diffusiediepte, leiden tot toleranties groter dan $\pm 10\%$.

3. Grote parasitaire capaciteit. Daar de weerstand via een p-n-overgang met het gemeenschappelijke substraat is gekoppeld, zal een spanningsafhankelijke parasitaire capaciteit ontstaan, waarvan de waarde minimaal 1 à 10 pF bedraagt. Dit effect beperkt tevens het nuttig bruikbare frequentiegebied van de weerstand tot ongeveer 100 MHz.

4. Lekweerstand naar gemeenschappelijk substraat.

5. Hoge spanningen zijn niet toelaatbaar (zener- of avalanchedoorslag).

6. Hoge stromen zijn niet toelaatbaar.

7. Hoge dissipatie is niet toelaatbaar (in verband met de hoge temperatuurcoëfficiënt).

Het samengaan van weerstand en p-n-overgang, inherent aan bovengenoemd type weerstand, hoeft niet altijd nadelig te zijn; voor bepaalde schakelingen kan deze combinatie juist van belang zijn, zoals bijvoorbeeld in „verdeelde *R* - verdeelde *C*"-netwerken voor filters.

Een andere wijze om weerstanden in monolitische schakelingen te vervaardigen, is het benutten van de instelbare „channel"-geleiding tussen „source" en „drain" van field effect transistoren. Ook wordt wel gebruik gemaakt van een conventionele transistor als weerstand. Immers vanuit fabricagestandpunt maakt het nagenoeg geen verschil of men weerstanden of transistoren indiffiundeert, terwijl bovendien transistoren een veel kleiner substraatoppervlakte vereisen dan ingediffundeerde weerstanden.

Condensatoren

In monolitische schakelingen wordt veelal gebruik gemaakt van de capaciteit van een p-n-overgang. Terwijl bij een voorwaartse instelling de „diffusie"-capaciteit afhankelijk is van de stroom door de junctie, is bij de in sperrichting aangesloten overgang de capaciteit een funktie van de spanning over de p-n-overgang. Daar de lekweerstand van een condensator in het algemeen zo klein mogelijk moet worden gehouden, wordt het laatste

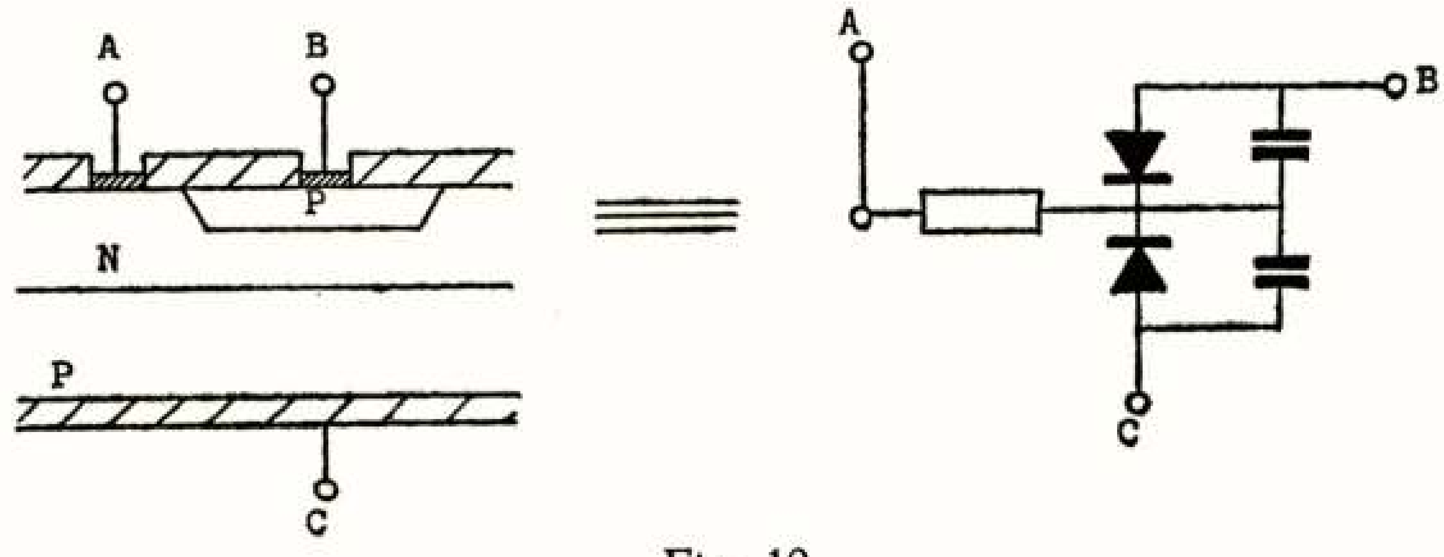


Fig. 10

De configuratie van de monolitische schakeling links is equivalent met de schakeling rechts

type condensator meestal toegepast. De configuratie van monolitische schakelingen vereist echter soms rekening te houden met de serieschakeling van beide typen condensatoren (fig. 10).

Afhankelijk van de verontreiniging van het p- en n-gebied zijn capaciteitswaarden mogelijk tussen 100 pF/mm^2 tot 1.000 pF/mm^2. De doorslagspanning hangt hier direct mee samen en bedraagt voor beide dopingen respectievelijk enkele honderden volts en enkele volts.

Een andere mogelijkheid is de vervaardiging van MOS (Metal Oxyde Semiconductor)-condensatoren. Hierbij dient een laag van 1.000 Å van SiO_2 als diëlectricum, terwijl enerzijds een aluminiumlaag en anderzijds een sterk gedoopte halfgeleiderlaag dient als electrode (fig. 11). Een vergelijkend overzicht van de eigenschappen van genoemde condensatoren is gegeven in fig. 12.

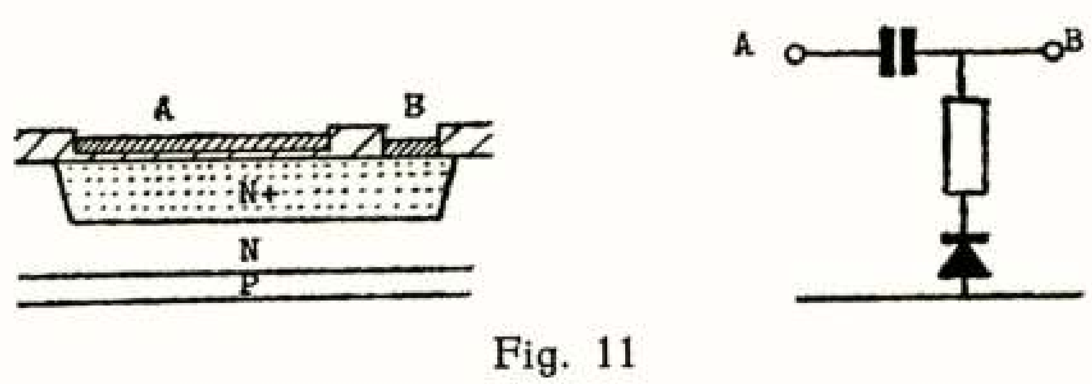


Fig. 11

MOS-condensator met vervangingsschema

	p-n overgang in doorlaatrichting	p-n overgang in sperrichting	condensator
Capaciteit/mm^2		100 - 1000	500 - 1000
Max. cap.		500 pF	500
Lineariteit	C afhankelijk van I	C afhankelijk van V	goed
Temp. coëff.	± 2000 ppm	± 2000 ppm	60 ppm
Tolerantie	15 - 20 %	15 - 20 %	10 %
Lekweerstand	< 10 Ω	> 10^6 Ω	> 10^9 Ω

Fig. 12
Eigenschappen van MOS-condensatoren

Zelfinducties

Voor kleine zelfinducties met lage Q kan men in de monolitische techniek in principe gebruik maken van bepaalde p-n- of p-i-overgangen, die in voorwaartse richting zijn ingesteld. Hierbij benut men de vertraagde geleidingsmodulatie in halfgeleiders [8], [9].

Zelfinducties van enig praktisch nut zijn echter in halfgeleidervorm nog niet vervaardigd. Veelal tracht men de schakelingen zodanig te ontwerpen dat men zelfinducties vermijdt. Vaak ziet men dan ook, dat functies die voorheen in analoge schakelingen zelfinducties vereisten, nu met digitale schakelingen worden gerealiseerd (bv. schakelingen voor frequentiemeting).

Een andere mogelijkheid is het simuleren van zelfinducties. Zo kunnen bv. filtereigenschappen van schakelingen door een samenspel van R-C-combinaties met actieve elementen worden gesimuleerd (actieve terugkoppeling). Een methode, door Linvill omschreven, is het benutten van een zg. „negative impedance converter" [10]). Daarnaast wordt de laatste tijd veel aandacht besteed aan het „verdeelde R-verdeelde C"-laddernetwerk, dat inherent is aan een p-n-overgang (fig. 13) [11]). Door keuze van de geometrie (fig. 14) als wel van de doping van de gebruikte

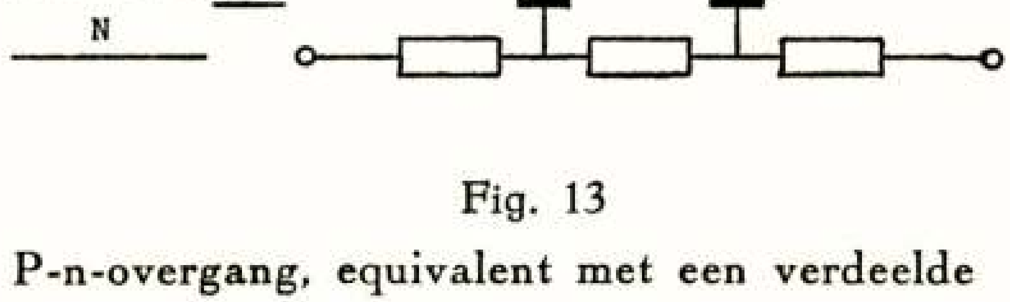


Fig. 13
P-n-overgang, equivalent met een verdeelde R-verdeelde C-laddernetwerk

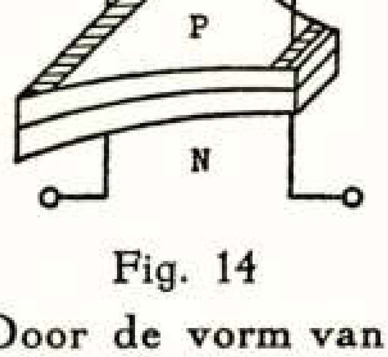


Fig. 14
Door de vorm van de halfgeleiders van fig. 13 kunnen de filterparameters worden beïnvloed

materialen zijn de filterparameters binnen bepaalde grenzen te regelen.

b. De actieve monolitische componenten

Actieve componenten kunnen de energie-inhoud van een signaal generen, versterken en schakelen. Het is dit type component, dat de monolitische schakeling zijn belangrijke toepassingen geeft. Vele nieuwe vormen van monolitische actieve componenten verschijnen regelmatig. Enkele hiervan zullen we summier beschrijven.

1e. De bipolaire transistor

De bipolaire transistor (fig. 15) is analoog aan de conventionele planaire transistor.

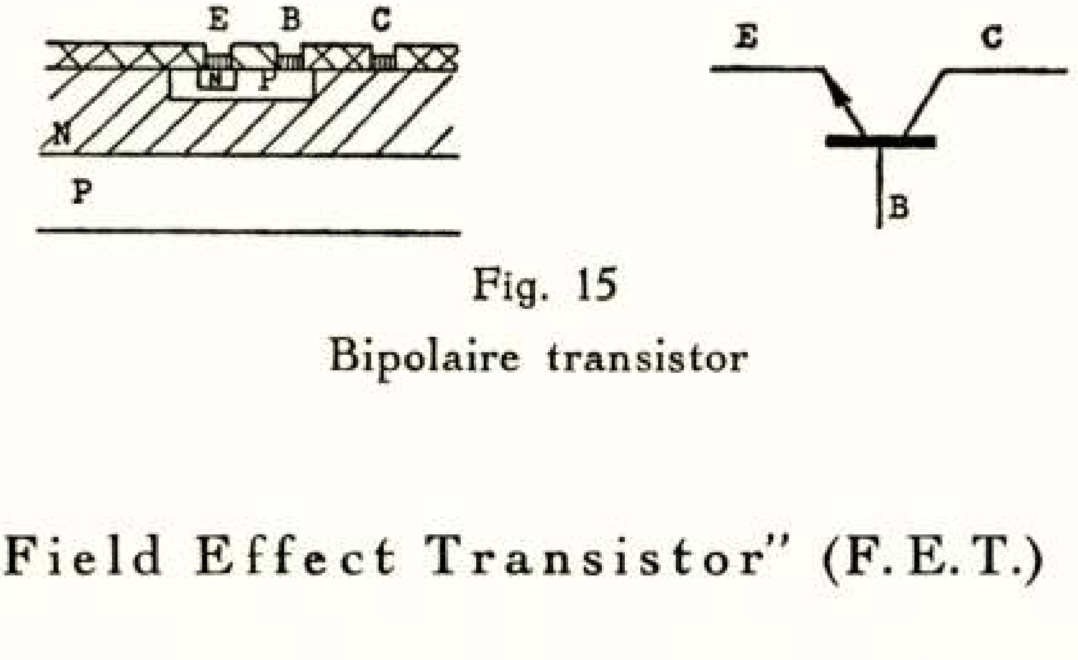


Fig. 15
Bipolaire transistor

2e. De „Field Effect Transistor" (F.E.T.)

Bij deze transistor (fig. 16) wordt de geleiding van de „channel" tussen „source" en „drain" gemoduleerd door variatie van de „depletionlayer"-dikte van de beide p-n-overgangen.

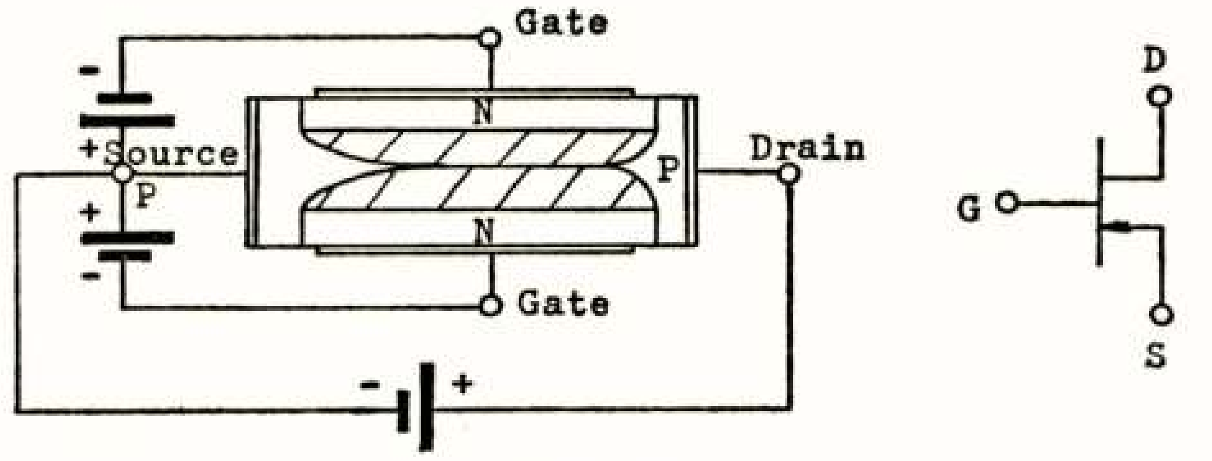


Fig. 16
„Field effect"-transistor

3e. De „Metal Oxyde Semiconductor" -transistor (MOS-transistor)

Bij deze transistor, ook wel genoemd „Insulated Gate Field Effect Transistor", wordt de geleiding van de channel gemoduleerd door variatie van het aantal vrije ladingsdragers, door middel van het aanleggen van een transversaal elektrisch veld. Dit veld wijzigt de oppervlaktetoestand van het halfgeleidermateriaal en veroorzaakt daardoor een inversie van p-type in n-type halfgeleider, zodat hiermede een geleidingskanaal is ontstaan tussen source en drain [12]).

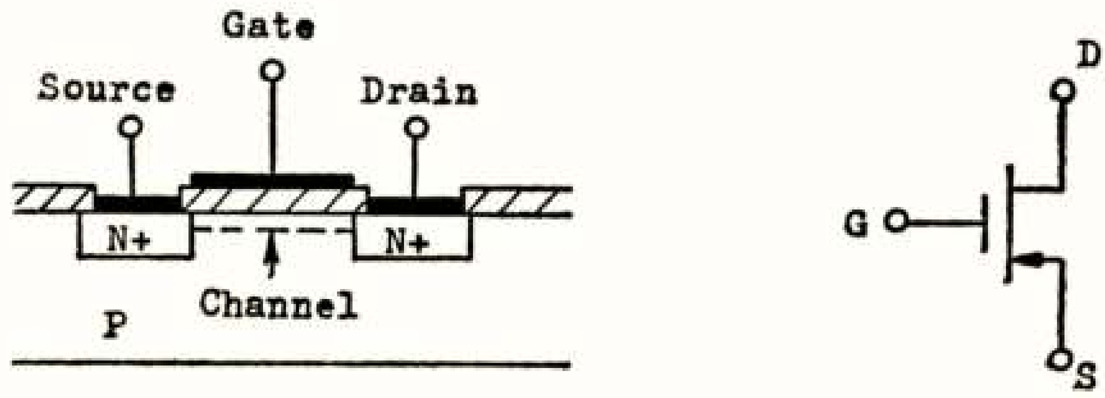


Fig. 17
MOS-transistor

Zowel de FET- als de MOS-transistor worden steeds frequenter toegepast in monolitische schakelingen. Eigenschappen als: hoge in- en uitgangsimpedantie, lage ruis en praktisch geen onderlinge koppeling, alsmede hun kleine afmetingen hebben hiertoe sterk bijgedragen.

Andere minder belangrijke typen monolitische transistoren zijn:

4e. de „Bipolar Field Effect Transistor" (BIFET),
5e. de „Surface Controlled Avalanche Transistor" (SCAT),
6e. de uni-junction transistor,
7e. de multi-junction transistor,
8e. de tunneldiode.

Daarnaast kunnen we nog noemen, hoewel eigenlijk niet behorend tot de groep van de actieve componenten, de normale p-n-diode en de zenerdiode, die van bijzonder belang zijn voor logische schakelingen.

c. De complete monolitische geïntegreerde schakeling

Zoals eerder genoemd zijn het de actieve componenten, de geringe afmetingen en de lagere produktiekosten voor grote hoeveelheden, die de monolitische schakeling vaak doet preva-

leren boven de dunnefilmschakeling. Daar tegenover staan nadelen, als:

1. grote toleranties van passieve componenten;
2. hoge temperatuurcoëfficiënt van de verschillende parameters;
3. onderlinge parasitaire koppeling van de componenten;
4. beperkt gebied van waarden van weerstanden en condensatoren;
5. zelfinducties in monolitische vorm zijn praktisch niet te realiseren;
6. de kwaliteit Q van condensatoren is laag;
7. polariteitsproblemen;
8. beperkt aantal componenten per „chip"*).

Om de onderlinge koppeling en de polariteitsproblemen te voorkomen, wordt gezocht naar andere methoden van „eiland"-vorming. Een methode is de zg. EPIC-techniek, waarbij de eilanden geïsoleerd zijn door SiO_2-lagen; zie fig. 18.

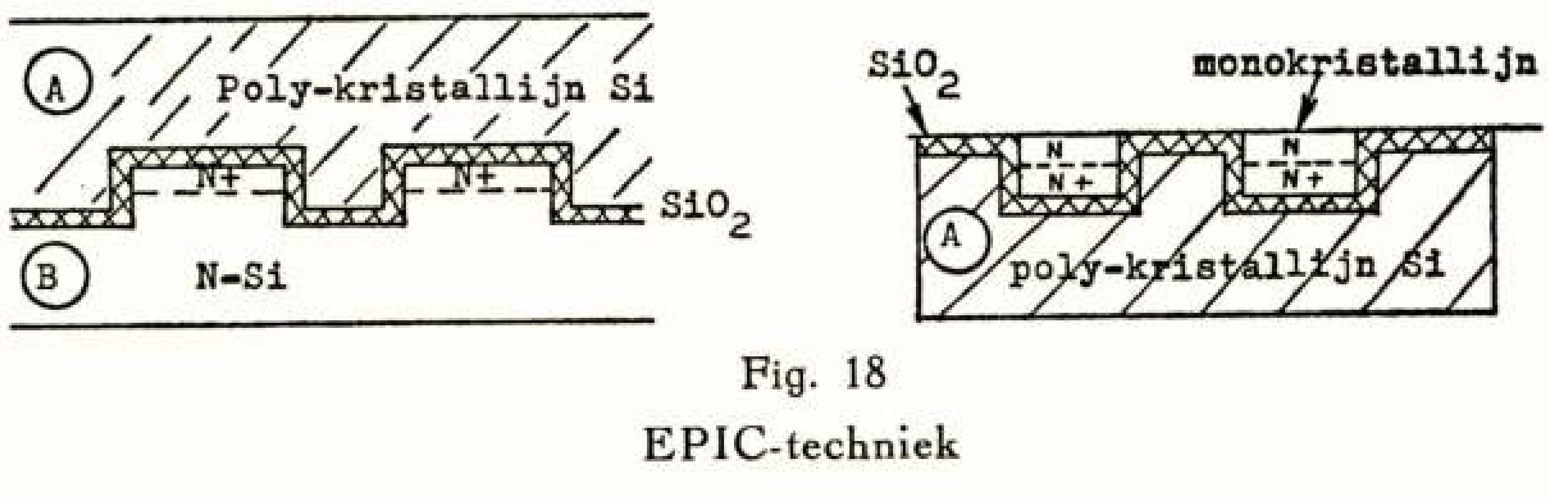


Fig. 18
EPIC-techniek

De meeste toepassingen van monolitische schakelingen liggen in de sector van de logische schakelingen; hierbij zijn de grote toleranties en temperatuurafhankelijkheid van de componenten van minder betekenis. De grote hoeveelheden logische schakelingen, vereist voor computers en data verwerkende systemen, maken het tevens mogelijk te profiteren van de lage massaproduktiekosten van monolitische schakelingen.

In zoverre lineaire schakelingen worden vervaardigd zijn deze wegens de parasitaire capaciteiten tot nu toe beperkt tot toepassingen in het laag- en middenfrequent gebied.

De afmetingen van een „chip" zijn in verband met het produktierendement beperkt, en daarmede het aantal componenten per chip. Het maximum ligt thans bij ongeveer 50 componenten op een chip met een oppervlakte van één mm^2. Wanneer vele componenten voor een schakeling zijn vereist, past men wel de zg. „multi-chip"-techniek toe. Hierbij worden enige chips op

*) De „chip" vormt het substraat van één enkele schakeling.

een keramisch substraat geplaatst. De verbindingen tussen de chips komen tot stand via geleidende banen, die op het substraat zijn aangebracht. De uitwendige verbindingen komen tot stand via bv. Au-draden, die de aansluitingen op de chip verbinden met uitvoerelectroden. Het geheel is veelal geplaatst in een TO 5-omhulling. De verbindingen tussen de componenten op de chip zelf komen tot stand met bv. opgedampte aluminiumbanen of met ingediffundeerde goed geleidende halfgeleiderkanalen. Om kruiskoppelingen te voorkomen, wordt de configuratie van de schakeling in belangrijke mate bepaald door een door dit aspect bepaalde lay-out. Anderzijds vereisen de thermische zowel als elektrische stabiliteit een bepaalde configuratie, zodat, mede gezien het voorgaande, een compromis onontkoombaar is.

De onderzoekingen naar de zg. opto-elektronische koppelingen, zowel tussen componenten onderling als tussen schakelingen [13]) (bv. koppeling via arseentrisulfide „light pipes" [14])) zijn nog in de research-fase.

De configuratie van monolitische schakelingen wijkt soms sterk af van de conventionele elektronische schakelingen.

Daar het weinig verschil maakt welke componenten men in het kristal realiseert, worden weerstanden vaak vervangen door instelbare transistoren, dioden door overgangen van transistoren, *RC*-netwerken door dioden, zenerdioden door parallelschakeling van zenerdioden en transistoren, zelfinducties door *RC*-netwerken en transistoren, geheugenelementen door complementaire MOS-transistoren enz. Daarnaast geven het verschijnen van steeds nieuwe componenten, de FET, de MOST, de SCAT, de optische vertragingselementen enz., een geheel nieuw karakter aan de elektronische schakeling.

II-3 *De hybride geïntegreerde schakeling*

Men kan in de hybride-techniek het volgende onderscheid maken:

a. dunnefilmschakelingen met daaraan toegevoegde actieve componenten;
b. monolitische schakelingen met daarop opgedampte passieve dunnefilmcomponenten;
c. monolitische schakelingen met uitwendig toegevoegde conventionele passieve componenten.

Zuivere dunnefilmschakelingen komen weinig voor; meestal

liggen de toepassingen in het gebied van de dunnefilmschakelingen met daaraan toegevoegde actieve componenten (transistoren). Op deze wijze profiteert men van de voordelen van beide technieken. Bezwaarlijk blijven echter de grote afmetingen van deze schakelingen, de in vergelijking met de monolitische schakelingen hoge massafabricagekosten en de extra verbindingen, die de levensduur verminderen. Hoewel de monolitische schakeling met de daarop aangebrachte passieve componenten van hoge kwaliteit deze nadelen niet heeft, is dit type schakeling nog niet in produktie. De moeilijkheid die zich hierbij voordoet, is het opdampen van weerstanden en condensatoren met acceptabele waarden op chips van bijzonder kleine afmetingen. Zonodig neemt de fabrikant dan ook tot op heden zijn toevlucht tot het onder c. genoemde type schakeling.

Hoewel de monolitische hybride schakeling met opgedampte passieve elementen een optimale oplossing voor de problemen schijnt te waarborgen, is deze techniek tot op heden het stiefkind in de micro-elektronica.

III Toepassingen

Om enige indruk te krijgen van wat thans mogelijk is in de micro-elektronica, zullen we enkele toepassingen van de verschillende technieken in het kort aanduiden. Vele van de te noemen toepassingen zijn nog in het ontwikkelingsstadium, waarbij veelal economische of produktie-technische problemen nog een barrière vormen voor massaproduktie.

III-1 *De dunnefilmschakelingen*

Als voorbeeld van een schakeling, die kan worden uitgevoerd in dunnefilmtechniek, is in fig. 19 een banddoorlaatfilter aangegeven, dat kan dienen als onderdeel van een hoogfrequentversterker (zie [1]), paper 6). Het filter heeft een centrumfrequentie van 40 MHz en een bandbreedte van 20 MHz. De kwaliteit Q van de spoelen bedraagt 80 tot 100.

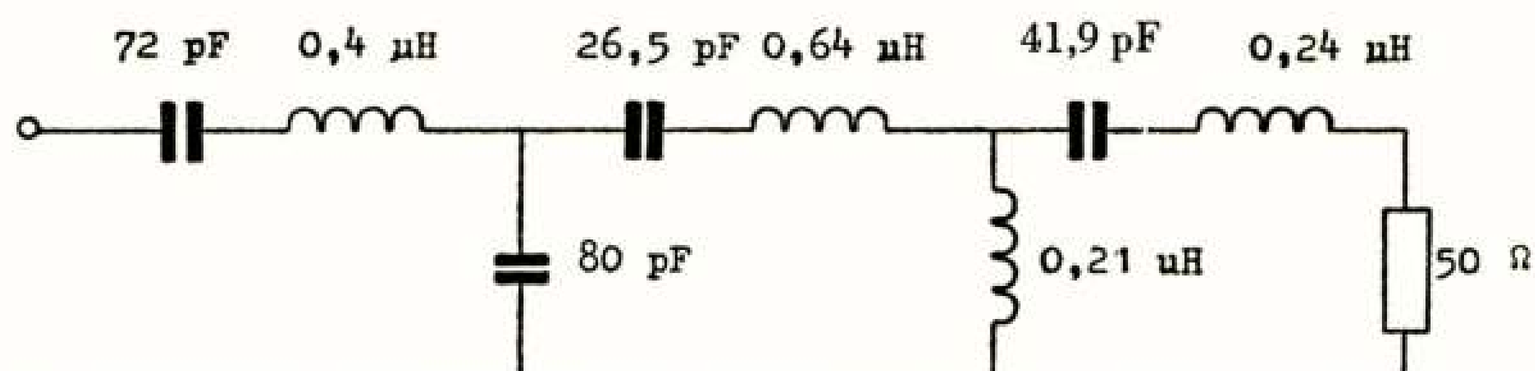


Fig. 19

Banddoorlaatfilter, uitvoerbaar als dunnefilmschakeling

Door het ontbreken van actieve elementen komen pure dunnefilmschakelingen weinig voor. Daar staat echter tegenover, dat dunnefilmschakelingen met daaraan toegevoegde actieve componenten een zeer belangrijke plaats innemen in de huidige micro-elektronica.

III-2 *De dunnefilm hybride schakelingen*

Een typische dunnefilm hybride schakeling vormt een bredebandversterker zoals gegeven in fig. 20 ([1]), paper 6).

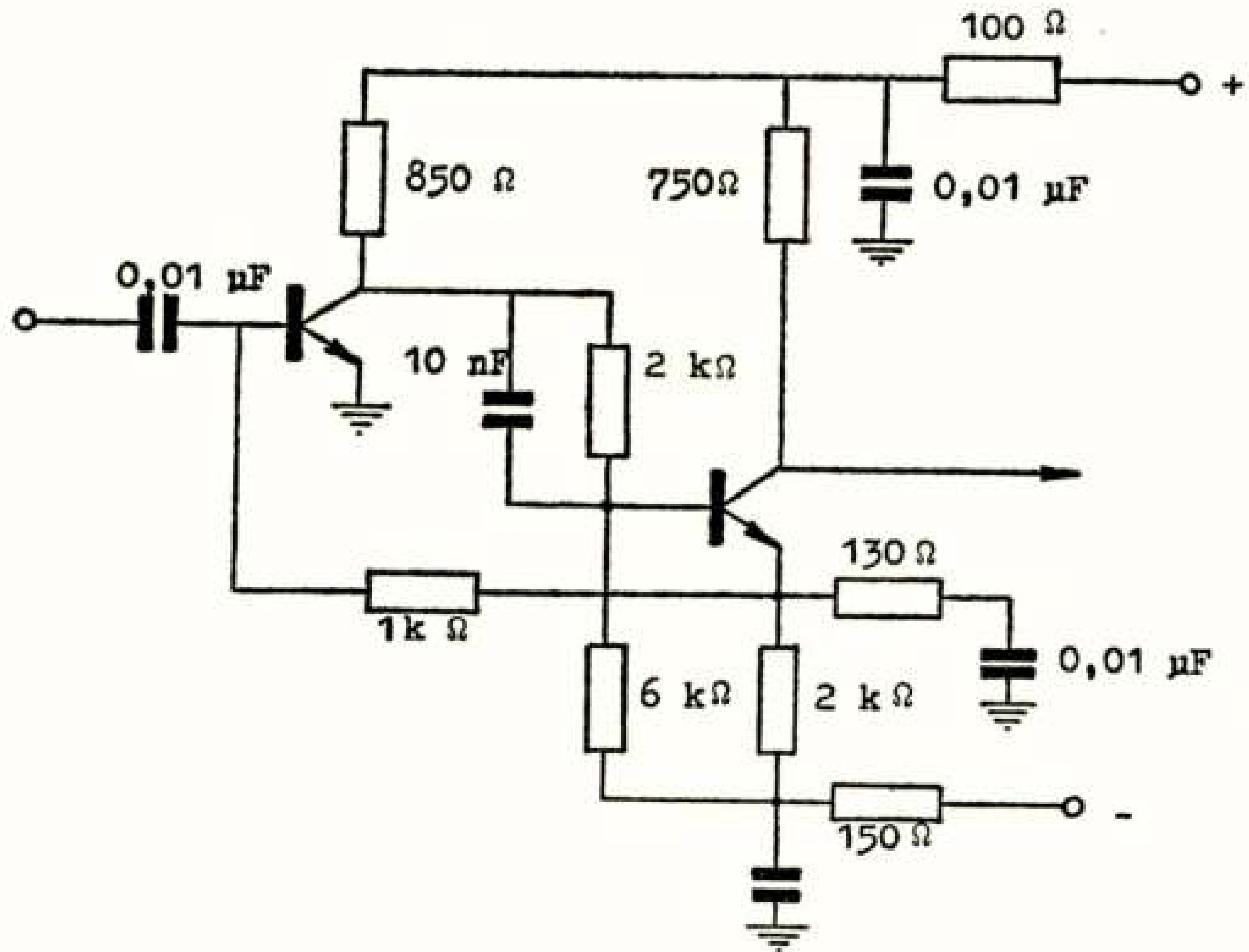


Fig. 20

Bredebandversterker, uitvoerbaar als dunnefilm hybride schakeling

De versterking bedraagt 17 dB van 300 kHz tot 100 MHz. De schakeling heeft een substraat van boriumsilicaatglas met afmetingen: 2 cm × 3 cm × 0,1 cm. De capaciteiten hebben tantaliumpentoxide als diëlectricum en een verliesfactor van 0,01 bij 1 kHz. De npn-transistoren (met afmetingen van 1 mm × 1 mm) zijn uitwendig toegevoegd door de aansluitdraden van de transistor door middel van thermocompressie aan de geleidende goudbanen van het dunnefilmcircuit te hechten.

Andere toepassingen zijn:

a. actieve filters,
b. audioversterkers,
c. nauwkeurige logische schakelingen,
d. flip-flops.

III-3 *De monolitische schakeling*

Een door middel van de planaire techniek vervaardigde monolitische siliciumschakeling vormt bijvoorbeeld een 500 mW klasse AB audioversterker. Het kristal met een oppervlakte van 1,5 mm^2 bevat 16 weerstanden (waarden van 20 Ω tot 22 k Ω), 17 npn-transistoren (waarvan één als zenerdiode is gebruikt), twee dioden en een condensator van 15 pF. Het schema van deze schakeling is gegeven in fig. 21 ([1]), paper 11).

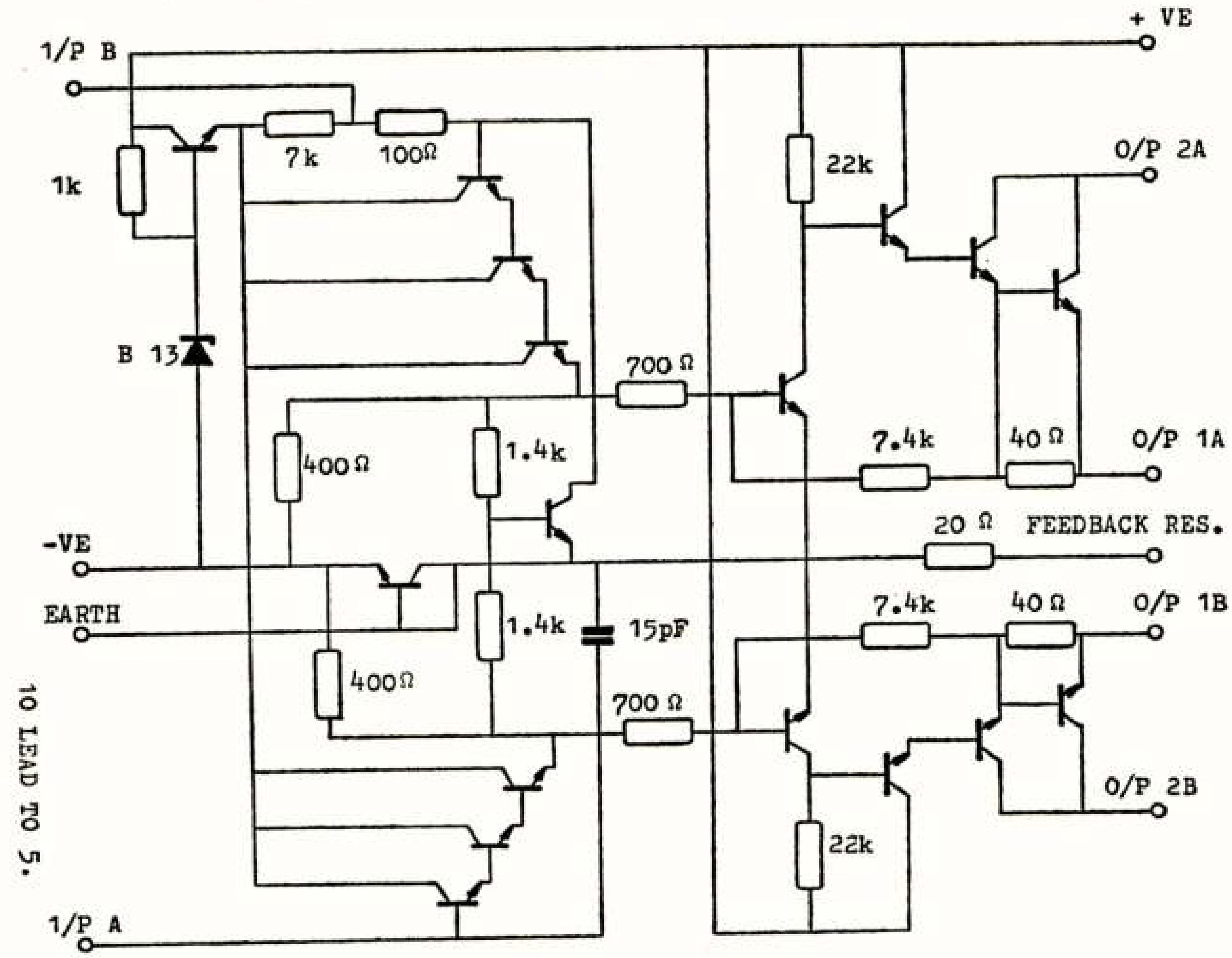


Fig. 21

Audioversterker, uitvoerbaar als monolitische schakeling

Andere toepassingen zijn:

a. logische schakelingen (vooral T.T.L., D.T.L. en D.C.T.L.),
b. monostabiele en bistabiele multivibratoren,
c. differentiaalversterkers,
d. schuifregisters,
e. gedistribueerde RC-filters,
f. geheugenelementen (met multivibratoren of MOS-transistoren).

III-4 *De monolitische hybride schakeling*

Toepassingen in dit gebied, waarbij men passieve elementen opdampt op de chip van de relatief kleine afmetingen van de

monolitische schakelingen, zijn nog in het research-stadium.

III-5 *Samengestelde schakelingen*

Hiermede worden bedoeld de volledige elektronische systemen welke samengesteld zijn uit dunnefilm, monolitische of hybride schakelingen. De toepassingen bestrijken in principe het gehele conventionele gebied van elektronische apparatuur met de beperking echter, dat zij voor grote vermogens niet uitvoerbaar zijn. Als voorbeelden kunnen we noemen de in de handel zijnde "Digitale tijd- en frequentiemeter" van "Racall" en de digitale computer „Elliot MCS 920 M."

Gegevens „Racall Tijd- en frequentiemeter":

bereik	: 1 Hz tot 10 MHz;
nauwkeurigheid	: $<$ 10 ppm;
samenstelling	: dunnefilm hybride schakelingen;
totale afmetingen	: 28 cm $\times$ 8 cm $\times$ 8 cm;
gewicht (incl. batt.)	: 51 lbs.

Gegevens "Elliot General purpose computer MCS 920 M":

geheugencapaciteit (magn. kern): 8192 woorden;

woordlengte	: 18 bits;
cyclus tijd	: 5 μsec;
order modificatie	: instructie-adres kan worden samengesteld;
totale afmetingen	: ca. 20 cm $\times$ 20 cm $\times$ 50 cm;
totale gewicht	: 65 lbs (32 kg).

Slot volgt.

Manuscript ontvangen 7 juli 1966.

CONGRESSEN E.D.

Internationale Tagung über Erzeugung und Verstärkung von Mikrowellen und Licht

Die 7. Internationale Tagung über Erzeugung und Verstärkung von Mikrowellen und Licht wird im Herbst 1968 in Hamburg stattfinden. Die Durchführung der Tagung wurde in die Hände der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im Verband Deutscher Elektrotechniker gelegt.

TENTOONSTELLINGEN E.D.

Hannover-Messe

De Hannover-Messe 1967 wordt gehouden van 29 april tot 7 mei 1967; de Hannover-Messe 1968 wordt gehouden van 27 april tot 5 mei 1968.

WETENSCHAPPELIJK ONDERWIJS

Prof. Ir. J. L. de Kroes

Bij Koninklijk Besluit van 1 november 1966 werd benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de Afdeling der Elektrotechniek van de Technische Hogeschool Delft, om onderwijs te geven in de automatische telefonie en telegrafie: *Ir. J. L. de Kroes,* thans hoofdingenieur bij de N.V. Philips' Telecommunicatie Industrie te Hilversum.

Lector Ir. F. C. W. Slooff

Bij Koninklijk Besluit van 25 oktober 1966 werd benoemd tot gewoon lector in de Afdelingen der Werktuigbouwkunde en der Elektrotechniek van de Technische Hogeschool Delft, om onderwijs te geven in de constructie van mechanische onderdelen in de elektrotechniek: *Ir. F. C. W. Slooff,* thans buitengewoon lector in de Afdeling der Werktuigbouwkunde.

Prijs voor afstudeerwerk

De door het Delfts Hogeschoolfonds ingestelde prijs voor afstudeerwerk, dat uitmunt in constructief, technisch, creatief en inventief opzicht, is dit jaar op 28 september 1966 toegekend aan *Ir. J. M. Kooijman* en *Ir. H. Ponssen.*

Ir. Kooijman heeft een onderzoek verricht betreffende de drukval en verblijftijdsspreiding van laminair stromende, newtonse vloeistoffen in pijpen met verschillende doorsnede.

Het afstudeerwerk van Ir. H. Ponssen had betrekking op het machinaal lezen van met de hand geschreven cijfers.

VARIA

Centrum voor satelliet-communicatie in India

In Ahmedabad, India, 900 km ten noorden van Bombay, wordt een centrum voor satelliet-communicatie gebouwd, onder supervisie van de International Telecommunication Union (I.T.U.). Men verwacht, in juni 1967 gereed te zijn. Het ligt in de bedoeling, India tot een relay-station tussen Europa en het Verre Oosten te maken in de steeds groeiende wereldomvattende satelliet-communicatie, en als een plaats van onderzoek voor het werken onder tropische omstandigheden. De installatie wordt geleverd door de Nippon Electric Company, Japan. „The United Nations Development Programme" (U.N.D.P.) draagt $ 615.300 bij in de kosten; het overige, equivalent met $ 990.884, wordt verstrekt door het Gouvernement van India.

BOEKBESPREKINGEN

Electronic digital systems, door R. K. Richards. 637 blz., 20 fig. Uitg. J. Wiley & Sons Ltd., London. 1966. Prijs 113 s.

Dr. R. K. Richards is de schrijver van „Arithmetic Operations in Digital Computers" (1955) en „Digital Computer Components and Circuits" (1957). Deze boeken behoren tot de eerste en meest gelezen werken in hun soort. Het nieuwe boek „Electronic Digital Systems" van dezelfde schrijver wekte daarom de beste verwachtingen. Ik heb het boek met veel belangstelling gelezen en ben in mijn verwachtingen niet teleurgesteld.

Als lezerskring beoogt de schrijver in eerste instantie ingenieurs die te maken krijgen met digitale technieken. Het vooraf lezen van een meer elementair werkje over digitale technieken zal dan wel vaak aanbeveling verdienen. Ook is het boek bestemd voor meer gevorderden en zelfs specialisten op digitaal gebied, die een globaal overzicht willen hebben van het gehele gebied, ook van de nieuwe ontwikkelingen. Tenslotte zullen ook programmeurs en niet-technisch geschoolden, wier werkzaamheden verband houden met computers, het boek met vrucht kunnen lezen, want slechts bij uitzondering vindt men passages waar technische of wiskundige voorkennis vereist wordt.

De behandelingswijze is encyclopedisch. Door het toevoegen van een uitgebreide literatuurlijst na elk hoofdstuk hoopt de schrijver op zijn eigen wijze een bijdrage te leveren tot de oplossing van het „information retrieval"-probleem.

Hoofdstuk één geeft een goed geschreven overzicht van de ontwikkeling van digitale systemen.

In het tweede hoofdstuk behandelt de schrijver de theorie van digitale systemen. Hij wijst er bij herhaling op, en terecht, dat de theorie niet bruikbaar is voor de synthese van meer uitgebreide systemen. Het vergelijken van synchroon en asynchroon werkende machines en van Mealy en Moore-machines wordt door de schrijver op originele wijze behandeld. Didactisch gezien een uitstekend hoofdstuk.

Het zwaartepunt van het boek valt ongetwijfeld in het derde hoofdstuk, dat bijna een derde gedeelte van het hele boek beslaat. „The Stored Program Concept" is de titel van dit hoofdstuk, dat te vergelijken is met een op zich zelf staand werk over digitale computers, zoals er reeds vele verschenen zijn. Met dit verschil echter, dat de schrijver zich vrijwel uitsluitend beperkt tot de beschrijving van begrippen op algemene wijze en niet aan de hand van een bestaande of fictieve machine. Het nadeel van deze wijze van behandeling is, dat het met vrucht lezen van dit hoofdstuk enige voorkennis op het gebied van digitale technieken vereist. Dit hoofdstuk is zeer uitvoerig en ook concepten, die slechts bij de zeer moderne systemen optreden, komen aan de orde.

Hoofdstuk vier handelt over programmeertalen en is, gezien de belangrijkheid en uitgebreidheid van het onderwerp, beknopt te noemen. Als argument daarvoor brengt de schrijver naar voren, dat het boek in eerste instantie de digitale systemen zelf behandelt, terwijl het gebruik van deze dus secondair is.

In hoofdstuk vijf wordt voor een boek als het onderhavige op vrij uitvoerige wijze ingegaan op de transmissie van digitale signalen. Op enkele punten wordt hier gebruik gemaakt van vrij elementaire wiskunde, maar ook zonder deze passages geeft dit hoofdstuk een grote hoeveelheid nuttige informatie.

Gecombineerde analoge en digitale technieken is een zeer uitgebreid gebied, waar tot op heden nog betrekkelijk weinig vorderingen zijn gemaakt. In hoofdstuk zes zet de schrijver uiteen wat er op dit gebied gedaan is en geeft aan in welke richtingen waarschijnlijk nog belangrijke ontwikkelingen te verwachten zijn.

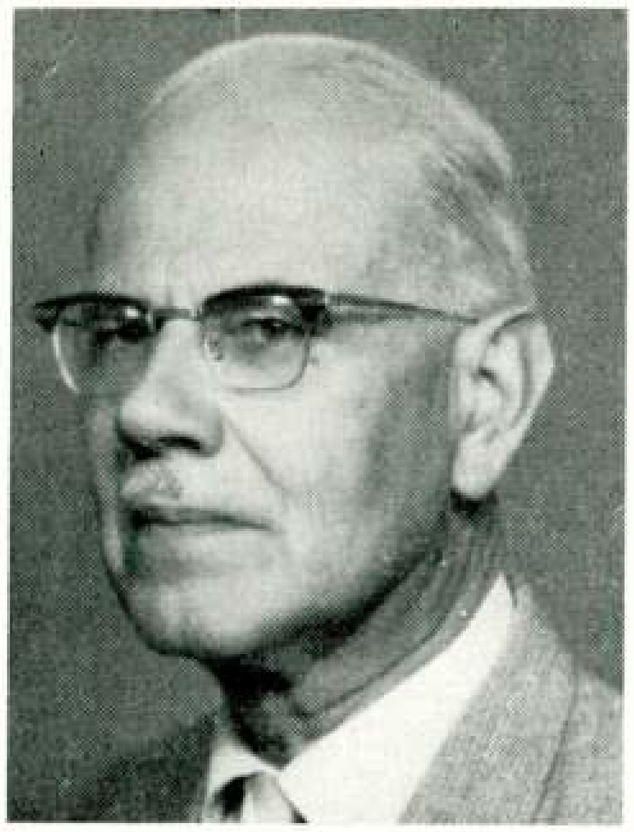
Hoofdstuk zeven begint met een voor niet-ingewijden leerzame inleiding in schakelsystemen voor telefonie en telegrafie, terwijl in het daaropvolgende gedeelte wordt aangegeven hoe in een communicatiesysteem een zeer groot aantal taken aan een computer toevertrouwd kunnen worden.

De relatie tussen digitale systemen en menselijk denken is onderwerp van hoofdstuk acht. De schrijver beperkt zich tot het aangeven van een aantal gebieden waar men kan spreken van een dergelijke relatie.

In hoofdstuk negen komen een aantal speciale onderwerpen aan de orde, zoals speciale toepassingen waar de computer een meer veelzijdige taak vervult, methoden om een computer van buiten af te besturen en communicatiesystemen, waarbij de menselijke stem een rol speelt.

Hoofdstuk tien is, gezien het specialistische karakter van het onderwerp, nl. betrouwbaarheid van digitale systemen, uitgebreid te noemen. De schrijver argumenteert dit met er op te wijzen dat veel beschouwingen in dit hoofdstuk ook van toepassing zijn op niet-digitale systemen.

Automatisch ontwerpen van digitale systemen is het onderwerp van het elfde en laatste hoofdstuk. Tijdens verschillende fasen van ontwerp en produktie van een digitaal systeem kan met vrucht gebruik worden gemaakt van een ander digitaal systeem. Deze fasen worden achtereenvolgens in beknopte vorm behandeld.



Ir. J. J. Vormer nam afscheid van P.T.T.

Op 1 november 1966 heeft Ir. J. J. Vormer, na een carrière van ruim 41 jaren bij het P.T.T.-bedrijf, wegens het bereiken van de pensioengerechtigde leeftijd deze dienst verlaten.

Vanaf zijn intrede bij P.T.T. in 1925 tot het jaar 1954 was hij verbonden aan het Radiolaboratorium, waar hij in 1945 Prof. Koomans opvolgde als chef van het laboratorium.

In deze eerste drie decennia maakte het radiowezen een spectaculaire ontwikkeling door. Radioverbindingen waren het unieke verbindingsmiddel voor telefonie en sneltelegrafie over grote afstanden. In de ontwikkeling van nieuwe technische principes en systemen (onder meer eenzijbandsysteem) en van de bij P.T.T. toegepaste en zeer geavanceerde apparatuur heeft de heer Vormer een belangrijk aandeel gehad. Door zijn uitgebreide kennis en ervaring en zijn persoonlijke eigenschappen werkte hij stimulerend op zijn jongere medewerkers. Vele ingenieurs en technici in en buiten het P.T.T.-bedrijf zijn in de loop der jaren door hem in de radiomaterie ingewijd.

Een overwegend en persoonlijk aandeel heeft de heer Vormer gehad in de totstandkoming, dertig jaar geleden, van een hoogvacuüminrichting annex installatie voor de vervaardiging van kwartskristallen. Bij de bestudering van de eigenschappen van kwarts en in de wetenschappelijke aanpak verrichtte hij pionierswerk: jarenlang is deze activiteit van P.T.T. een unicum in Nederland geweest.

Sedert 1954 was de heer Vormer verbonden aan de hoofddirectie Algemene Zaken en Radio voor het directe toezicht op de diverse radio-afdelingen van het bedrijf. Zijn kennis en ervaring stelde hij eveneens in dienst van nationale en internationale commissies; laatstelijk in het overleg met betrekking tot het verkeer via satellieten.

Zijn technische verdiensten vonden officiële erkenning in zijn benoeming in 1953 tot officier in de Orde van Oranje Nassau.

Naast al deze activiteiten heeft Ir. Vormer zich grote verdiensten verworven voor ons Genootschap, waarvan hij sinds 1927 lid is.

Toen het N.R.G. in 1937 begon met het afnemen van examens, heeft hij al terstond een zeer actief aandeel gehad in de werkzaamheden van de examencommissie.

Op 10 april 1940 werd hij in het bestuur van het N.R.G. gekozen; hem werd de taak van penningmeester toevertrouwd. Op 30 maart 1951, tijdens de 100e zitting van het Genootschap, nam hij de taak van voorzitter over van Prof. Tellegen. Op 24 maart 1960 legde hij het voorzitterschap neer, daar hij door drukke werkzaamheden dikwijls niet in de gelegenheid was, zoveel aandacht aan het Genootschap te schenken als hij wenselijk achtte. Ir. van der Toorn volgde

hem op als voorzitter. Ir. Vormer is toen echter nog een jaar bestuurslid zonder speciale functie gebleven.

Op 14 oktober 1960, tijdens de feestvergadering ter gelegenheid van het 40-jarig jubileum van het Genootschap, werd hij benoemd tot erelid, om daardoor de waardering tot uitdrukking te brengen voor de buitengewone diensten, aan het Genootschap bewezen.

Ook na zijn aftreden als voorzitter en bestuurslid heeft Ir. Vormer tot op de huidige dag het Genootschap nog belangrijke diensten bewezen.

Mogen nog vele jaren van goede gezondheid de heer Vormer en de zijnen worden geschonken.

UIT HET N.E.R.G.

LEDENMUTATIES

Nieuwe leden:

Ir. F. H. Groen, Oude Vlijmenseweg 20, 's-Hertogenbosch.
Ir. E. Th. Simon, Schrobbelaarstraat 16D, Delft.
C. G. Wouters, Wantsnijdersgaarde 251, Den Haag.

Voorgestelde leden:

Ir. J. W. Coenders, Houthuizerweg 6, Lottum (L.).
Ir. G. J. M. Pappot, Oostsingel 88, Delft.
A. A. Spanjersberg, Beatrixstraat 15, Leiderdorp.

Nieuwe adressen van leden:

Ir. H. G. Beljers, Lissevoort 25, Nuenen (N.B.).
Prof. Ir. E. W. Gröneveld, Schubertlaan 18, Enschede.
Ir. A. A. J. M. van Heck, Deurningerstraat 7-101, Enschede.
P. W. L. van Iterson, Colijnlaan 7, Huizen (N.H.).
Ir. G. P. H. Olthuis, Wijttenbachweg 57, Oegstgeest.
Ir. P. Plomp, van Hogendorplaan 1, Spakenburg.
Dr. Ir. J. P. M. Schalkwijk, 96 Lionel Ave, Apartment E, Waltham, Mass. 02154, U.S.A.
Ir. S. W. J. Serlé, Landsteinerbocht 9, Delft.

Bedankt als lid:

Dr. Ir. M. T. Vlaardingerbroek, Bergmanstraat 83, Eindhoven.

Dit nummer werd gedrukt 29 december 1966.